

Navegació d'un robot autònom

Sergio Requena

Resum—En aquest projecte que es centra en el camp de la robòtica, es podran aprendre diversos aspectes sobre el robot Kobuki. L'objectiu principal és la navegació autònoma d'aquest en un entorn prèviament mapejat amb una sèrie de dispositius que seran instal·lats durant el document. Aquests dispositius són la Kinect de Microsoft i el làser de precisió Hokuyo que han sigut inclosos al model del robot i que ens permetran generar un mapa d'ocupació de l'espai en el qual es podrà navegar posteriorment. També es mostrarà la potència del visualitzador Rviz amb el qual es podran veure tant mapes com imatges en 3D. Tot això serà possible gràcies al sistema operatiu ROS, especialitzat en projectes de robòtica, que millora la comunicació entre els dispositius de la xarxa i del qual es podran aprendre els conceptes bàsics de funcionament de les seves eines. Per acabar, també es podrà veure un petit estudi de les diferències entre el mapa generat per cadascun dels dos dispositius.

Paraules clau—robot, Kobuki, ROS, autònom, navegació, làser, kinect, mapatge.

Abstract—This project is focused on the robotics field and it will allow readers to know more about different aspects of the robot Kobuki. The main aim is to achieve the autonomous navigation of said robot on an environment previously mapped through a series of devices installed during the paper. These devices are Microsoft's software Kinect and Hokuyo's precision laser, which will be included in the robot and will allow us to generate a map of a given space which the robot will later be able to navigate through. It will also be showed the power of Rviz, a visualizer that will allow us to see both maps and images in 3D. All this will be possible thanks to the ROS operating system, which is specific for robotic projects, and which improves communication between the devices forming the network. We will learn the basics about ROS's tools. To sum up, we will shortly study the differences between the maps created by said two devices.

Index Terms—robot, Kobuki, ROS, autonomous, navigation, laser, kinect, mapping.



1 INTRODUCCIÓ

Aquest document pretén informar de tots els aspectes que s'han tractat durant el projecte de fi de grau i les conclusions extretes de tots ells.

El projecte gira entorn a la investigació del robot Kobuki i els dispositius que s'han incorporat a aquest, com són la Kinect de Microsoft i el làser de precisió Hokuyo. També juga un paper important el sistema operatiu ROS, especialitzat en projectes relacionats amb el camp de la robòtica.

En aquesta investigació es duen a terme un seguit d'experiments per tal d'evaluar el comportament del robot i dels dispositius a estudiar en entorns controlats per saber com actuen i poder traslladar aquest coneixement a problemes reals.

La proposta inicial del projecte era la navegació autònoma d'un robot, però després d'assolir aquest objectiu es va seguir investigant per tal de recollir la major informació possible.

Principalment s'explicaran tres objectius en aquest document. El primer és la navegació autònoma del robot Kobuki en un entorn prèviament mapejat amb el dispositiu

Kinect, el segon és la repetició de l'experiment amb el làser Hokuyo i finalment una quantització de les diferències entre aquests dos dispositius. Tot això utilitzant les eines que ens proporciona ROS.

2 ESTAT DE L'ART

Per elaborar aquest apartat s'han buscat projectes especialitzats en l'utilització del robot Kobuki per resoldre problemes reals.

Un dels projectes trobats ha sigut l'AAL (*Ambient Assisted Living*) [1] on el robot ajuda en tasques domèstiques orientades a persones majors. Per exemple, es capaç de portar aigua o medicines, pot monitoritzar l'estat de salut, com també pot detectar caigudes i alertar als serveis d'emergència en cas de que sigui necessari.

Un altre projecte interessant és el robot POLYRO (*oPen sOurce friendly RObot*) [2] que integra un cos robòtic sobre la base Kobuki i que és molt útil per ajudar a persones amb mobilitat reduïda a les extremitats superiors. Podem veure una foto d'aquest robot a la figura 1.

Aquests exemples són els projectes més destacats però el robot Kobuki pot tenir moltes aplicacions.

-
- E-mail de contacte: sergio.rdlv@gmail.com
 - Menció realitzada: Computació
 - Treball tutoritzat per: Ricardo Toledo (departament de robòtica)
 - Curs 2014/15



Fig. 1. En aquesta figura podem observar el robot POLYRO amb una base Kobuki i equipat amb una Kinect.

3 ROS

Com s'ha esmentat a la introducció, l'eina utilitzada per treballar amb el Robot Kobuki és ROS (Robotic Operating System) [3].

Aquest sistema operatiu consta d'un conjunt de llibreries, eines i drivers de codi lliure que faciliten enorment el desenvolupament d'aplicacions destinades al tractament de robots. Gràcies a aquestes eines podem obtenir tot tipus d'informació de la sensòrica del robot i tractar els esdeveniments, així com també podrem ordenar-li tot tipus d'accions.

3.1 Conceptes importants

ROS pot fer aquestes accions gràcies a que utilitza principalment dos mètodes:

El primer és la creació de *publishers*. Les màquines poden publicar ordres als diferents actuadors que arribaran a tots els dispositius de la xarxa.

El segon és la creació de *suscribers*. Les màquines es poden subscriure a la informació que el robot està publicant constantment per tal de saber l'estat de tots els sensors i actuadors.

La informació de la qual es parla més amunt està organitzada en els anomenats *topics*. Hi ha un *topic* per cada informació a publicar, per exemple, un per els bumpers, un per el làser, un per l'odometria, etc. D'aquesta manera l'usuari pot decidir a quina informació suscriure's depenent de la finalitat de la seva aplicació final.

Els *publishers* dels que s'ha parlat abans són els encarregats de publicar a la xarxa aquests *topics* i els *suscribers* són els que capturen aquesta informació i la passen a l'usuari perquè aquest l'avalui.

3.2 Estudi de ROS

En la primera etapa del projecte es va investigar aquesta eina per tal d'aprendre tot el possible i aconseguir d'aquesta manera els millors resultats amb el robot.

Aquest aprenentatge es pot dividir en dos parts. La primera, més teòrica, va ser la configuració de l'espai de treball i l'arraigament dels conceptes bàsics gràcies a la

documentació trobada a la Wiki de ROS [4]. La segona, més pràctica, va ser l'exploració de la documentació sobre el Kobuki trobada a la mateixa plataforma [5]. En aquest cas es van realitzar un seguit d'experiments amb el robot que explicarem més endavant.

4 EL ROBOT KOBUKI

Per dur a terme aquest projecte s'ha utilitzat el robot Kobuki de la marca Robotnik [6] equipat amb un netbook amb el sistema operatiu Linux Ubuntu connectat per USB a la base. Algunes de les especificacions funcionals més notables d'aquest dispositiu són, per exemple, una velocitat lineal màxima de 65 cm/s, una angular de 3.14 rad/s o una capacitat de càrrega de 5kg en terra dur. En la part d'especificacions hardware trobem per exemple que està equipat amb tres bumpers (detectors de xoc), LEDs programables, botons tàctils també programables o sensors de caiguda.

5 PREPARACIÓ PRÈVIA

Per tal d'entendre com funciona el robot cal saber quina és la preparació prèvia abans d'executar qualsevol tipus de codi.

Primerament, s'ha d'activar el robot per tal de que escolti ordres i això s'aconsegueix executant un node ROS.

Els nodes són processos que realitzen el còmput. Es combinen en un graf i es comuniquen entre si utilitzant mètodes com l'*streaming* o el servidor de paràmetres per la comunicació [7].

En aquest cas s'executava el node principal a la màquina d'abord utilitzant el mètode SSH i una vegada el node estava encés, ja es podien executar des de la màquina de sobretaula les accions pertinents.

6 AUTODOCKING

Una prova inicial que es va realitzar per agafar experiència amb el robot va ser la de l'*autodocking*. Aquest experiment consistia en que el robot Kobuki havia de trobar l'estació de càrrega i posicionar-se correctament davant d'ella.

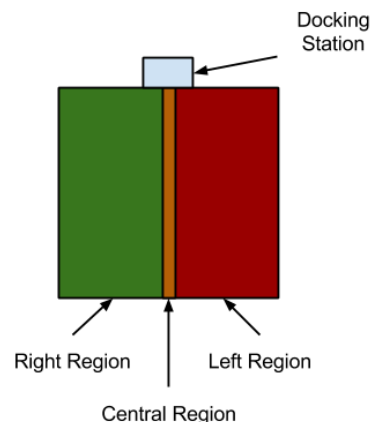


Fig. 2. En aquesta figura podem observar el funcionament de l'estació de càrrega i com forma les tres regions amb el rajor IR.

Es va aconseguir aquest objectiu gràcies a que l'estació de càrrega emet tres rajos infrarojos. Cada raig correspon a una regió (dreta, central i esquerra), com es pot observar a la figura 2, i que té codificada aquesta informació per tal de que quan el robot el detecti sàpiga perfectament on es troba.

D'altra banda, el Kobuki també està equipat amb tres rajos infrarojos com es mostra a la figura 3. Per tant, el robot modifica la seva trajectòria en l'espai fent coincidir cada receptor amb l'emissor corresponent, aconseguint d'aquesta manera, posicionar-se correctament just davant de l'estació.

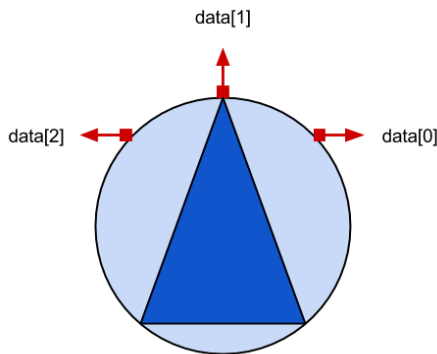


Fig. 3. En aquesta figura podem observar el funcionament dels receptors del robot als quals podem accedir per agafar l'informació.

Una vegada col·locat davant, només ha de moure's endavant per fer contacte amb l'estació i començar a carregar-se.

7 INCORPORACIÓ DE LA KINECT

Després de realitzar els experiments es va passar a incorporar la Kinect al robot i adaptar el sistema al nou hardware. Una vegada afegit aquest nou dispositiu el Kobuki tenia la configuració corresponent a la figura 4.



Fig. 4. En aquesta figura podem observar el robot Kobuki equipat amb una Kinect.

7.1 Conceptes bàsics del dispositiu

La Kinect és un dispositiu desenvolupat per l'empresa Microsoft amb la finalitat de permetre als usuaris controlar i interactuar amb la videoconsola Xbox 360 sense necessitat de contacte físic amb un controlador de videojocs tradicional. De les dues versions comercials fins al mo-

ment, el robot Kobuki està adaptat per la versió 1.0.

Gràcies a les especificacions tècniques de la Kinect [8], han aparegut una quantitat molt elevada de projectes que utilitzen aquest hardware per diferents finalitats que no estan relacionades directament amb el món dels videojocs.

Com es pot observar a la figura 5, la Kinect consta principalment de cinc parts:

- **IR Emitter:** aquest emissor de rajos infrarojos emet un patró que permet al sensor de profunditat saber la distància a la qual es troben els obstacles evaluant així l'entorn pel qual s'està movent.
- **Color Sensor:** aquest sensor de color és la càmera que capta les imatges que veu la Kinect i que posteriorment pot posar en correspondència amb el sensor de profunditat per generar la imatge de l'entorn.
- **IR Depth Sensor:** el sensor de profunditat llegeix el rajos infrarojos que emet l'IR Emitter per saber la profunditat de cada punt.
- **Tilt Motor:** un motor situat a la base que permet a la Kinect inclinar-se però que en aquest projecte no serà necessari ja que estarà fixada al robot amb els suports que incorpora.
- **Microphone Array:** la Kinect també disposa d'una cadena de quatre micròfons per captar l'àudio en cas que sigui necessari.

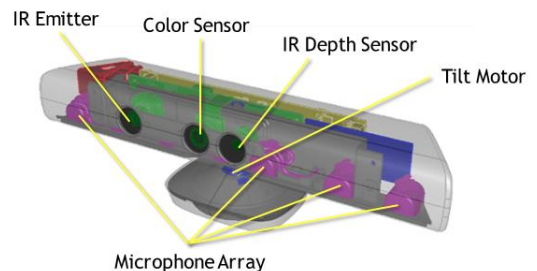


Fig. 5. En aquesta figura podem observar la disposició dels receptors de la Kinect als quals podem accedir per captar la informació.

8 Rviz

Després de la incorporació era el moment de fer les comprovacions necessàries per tal de veure si el funcionament d'aquesta era el desitjat. Per aquesta tasca i després d'engegar el node ROS es va habilitar el sensor 3D de la Kinect.

A partir d'aquí entra en joc un software molt important anomenat Rviz. Un potent visualitzador que carrega el model físic del robot i ens permet veure cadascun dels sensors que incorpora.

En aquest cas, tal i com es pot observar a la figura 6, tenim activada la informació de la imatge, el làser i la profunditat procedents de la Kinect.

Podem observar a la part inferior esquerra el que veu en temps real la Kinect i per tant, el Kobuki. D'altra banda, a la part dreta, podem veure com Rviz genera la imatge sobre els punts de la profunditat, que ha capturat amb el làser, donant una perspectiva 3D de l'espai.

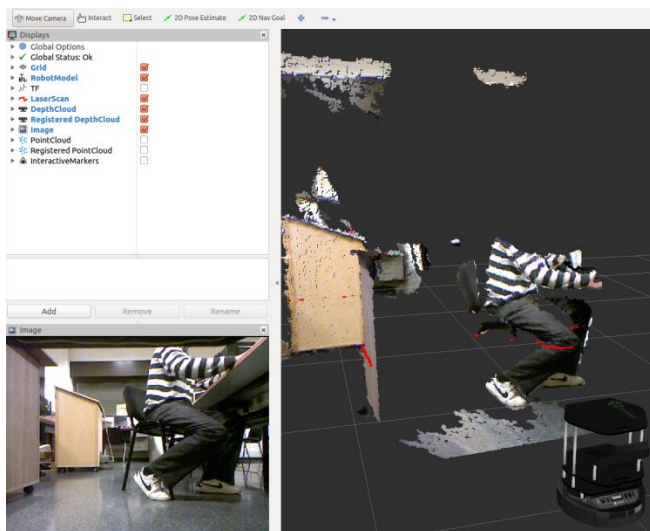


Fig. 6. Captura de pantalla del visualitzador Rviz generant una escena 3D gràcies a la Kinect.

9 MAPEJANT L'ESPAI

Per tal de mapejar la zona el procediment és semblant. El primer pas és obrir Rviz configurat per tal de que guardi les distàncies que mesura el làser i executar el control remot del teclat des de l'estació de treball per tal de moure al robot.

Un cop preparat, cal controlar el robot per l'espai desistjat amb la finalitat de que generi el mapa. L'usuari pot seguir tot el procés via Rviz que es troba executat a la màquina de sobretaula.

És necessari que el robot navegui per tot l'entorn per tal de veure el màxim possible. Així disposarem d'un mapa més complet. Una vegada acabat tot el procés només s'ha de guardar el mapa generat per poder utilitzar-lo en la navegació autònoma.

10 MAPATGE D'UN ESPAI CONEGUT

Una vegada aconseguit el mapeig es va proposar de fer un experiment. Es va crear un espai conegut per on posteriorment navegaria el robot Kobuki. Una primera vegada fent el mapatge amb la Kinect i una segona amb el làser Hokuyo per tal de detectar si les diferències entre els dispositius eren notables. En aquest apartat es veurà com va ser el mapatge d'aquest espai amb la Kinect.

Per tal d'entendre millor l'experiment, definirem l'espai conegut. Aquest era un passadís de la universitat que contenia dos caixes rectangulars al centre de l'espai i dos columnes circulars a un dels costats.

10.1 Mapatge amb la Kinect

Una vegada funcionant el robot activant la captura de dades a través del làser de la Kinect es va col·locar el robot en el passadís en qüestió.

Després de fer-lo navegar manualment amb la teleoperació per teclat es van aconseguir els següents resultats.

Com podem observar a la figura 7, a primera vista podem veure que la forma del passadís és la correcta i que

detecta les caixes al centre i també apareixen les formes circulars de les columnes.

En els següents apartats es podran observar els resultats amb el làser de precisió.

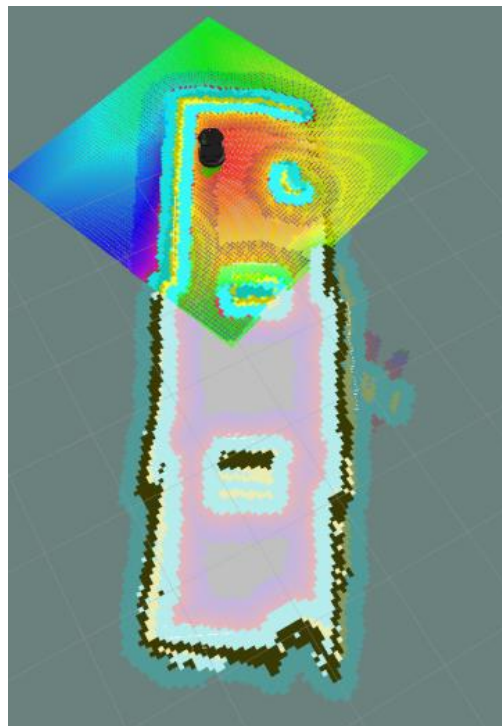


Fig. 7. Captura de pantalla del programa Rviz que mostra el mapa generat per la Kinect.

11 NAVEGACIÓ AUTÒNOMA

L'últim pas del procés és que el nostre robot sigui capaç de navegar per l'espai que prèviament s'havia mapejat.

Per començar, s'estableix la connexió amb el robot al igual que en els passos anteriors iniciant el node ROS. Llavors es carrega el mapa, el de la figura 7 per exemple, i finalment es configura Rviz per tal de poder navegar. Els passos importants a configurar per aconseguir un funcionament òptim són els següents.

11.1 Estimation Pose

El robot ha de saber aproximadament on es troba en el mapa i quina és la orientació que té, es a dir, el lloc on mira la Kinect. Per aquest motiu, s'indica via Rviz aquesta informació.

11.2 Navigation Goal

Una vegada tot preparat per passar a l'acció només s'ha d'establir un punt objectiu en el mapa i una orientació final per veure com el robot Kobuki navega de manera autònoma per l'espai.

Una vegada indicat, també mitjançant l'aplicació Rviz, es calcula el millor camí tenint en compte la distància i els obstacles definits al mapa d'ocupació.

El robot assolirà el punt objectiu i quedarà amb l'orientació desitjada. Si és necessari, recalculerà la trajectòria al detectar obstacles que no estaven definits al seu

mapa d'ocupació perquè han pogut aparèixer posteriorment al mapatge com per exemple, una persona passant

12 INCORPORACIÓ DE LÀSER HOKUYO

Després de la incorporació satisfactòria de la Kinect i aconseguir que el robot navegues correctament, es va passar a afegir el làser de precisió que podem observar a la figura 8.



Fig. 8. En aquesta figura podem observar el làser Hokuyo que té dos connectors, un per l'alimentació i un altre per la comunicació amb altres dispositius.

Algunes de les especificacions tècniques més rellevants del làser de la marca Hokuyo model URG-04LX [9] són el seu camp de visió, que puja fins als 240° (com s'observa a la figura 9), el seu temps d'escaneig que ronda els 100ms/scan i el seu soroll que aproximadament és de 25db o menys.

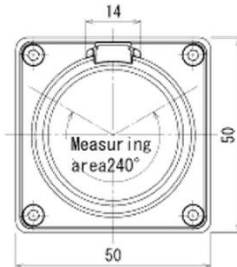


Fig. 9. Petit plànol del làser Hokuyo amb les mides específiques i els graus del seu camp de visió.

13 MODIFICACIONS A CAUSA DEL LÀSER

Per tal de que el funcionament del làser fòs correcte es va haver de modificar moltes de les configuracions prèvies. Tant en la part física com la part lògica.

13.1 Modificacions físiques

Primerament es va decidir on instal·lar el làser en la configuració del robot per tal de que pogués llegir el major entorn possible sense ser molestat pel propi robot.

El robot consta de tres plataformes i si es col·locava el làser a qualsevol que no fòs la plataforma superior es podien observar problemes en les lectures a causa del gran abast del làser.

Finalment es va optar per instal·lar-lo a la part superior del Kobuki

13.2 Modificacions lògiques

Després de col·locar el làser al Kobuki i alimentar-lo amb la pròpia bateria del robot es va passar a configurar

tot el necessari. Primerament es va modificar el model 3D del robot per tal d'incorporar el làser a la posició idònia. Gràcies a aquesta incorporació, ROS calcula les noves físiques del robot tenint en compte el nou dispositiu. Finalment es va modificar la configuració inicial del node per tal de que acceptés tant la Kinect com el nou Hokuyo a la vegada. Un aspecte important per tal de estudiar les diferències.

14 MAPATGE D'UN ESPAI CONEGUT (SEGONA PART)

Després d'instalar el làser es va continuar amb l'experiment de mapeig en el mateix entorn on s'havia generat el mapa amb la Kinect. En aquest apartat es veurà com va ser el mapatge d'aquest espai amb el làser Hokuyo.

14.1 Mapatge amb el Hokuyo

Una vegada funcionant el robot activant només la captura de dades a través del làser Hokuyo es va col·locar el robot en el mateix escenari anterior.

Després de fer-lo navegar manualment amb la teleoperació per teclat tal i com s'havia fet a la prova anterior es van aconseguir els següents resultats.

Com s'observa a la figura 10, aquest mapa és molt més acurat que l'anterior.

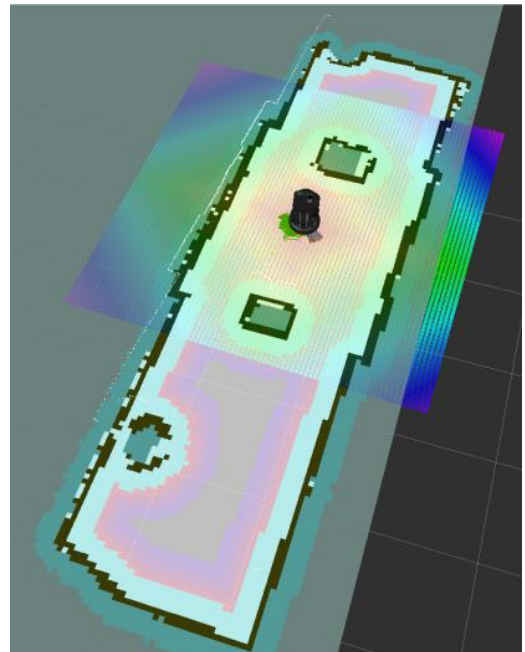


Fig. 10. Captura de pantalla del programa Rviz que mostra el mapa generat per el Hokuyo.

Podem veure que les caixes estan totalment definides així com les parets laterals que es veuen fins i tot rectes en alguns punts. Aquest fet ens fa adonar-nos de la quantitat de soroll que hi havia amb la Kinect.

Per últim, el tema de les columnes també millora bastant. Es pot observar molt millor que abans la forma circular d'aquestes.

14 COMPARACIÓ DELS LÀSERS

Finalitzat l'experiment de la navegació autònoma i els dos làsers funcionant perfectament, es va proposar fer un petit estudi de les diferències entre els dos dispositius làser.

14.1 Comparació visual

Primerament es va realitzar una comparació visual amb el software Rviz dels dos dispositius treballant alhora en el mateix entorn anterior.

A la figura 11 es pot observar a primera vista que el rang del Hokuyo (línia vermella) és molt major que el de la Kinect (línia blanca).

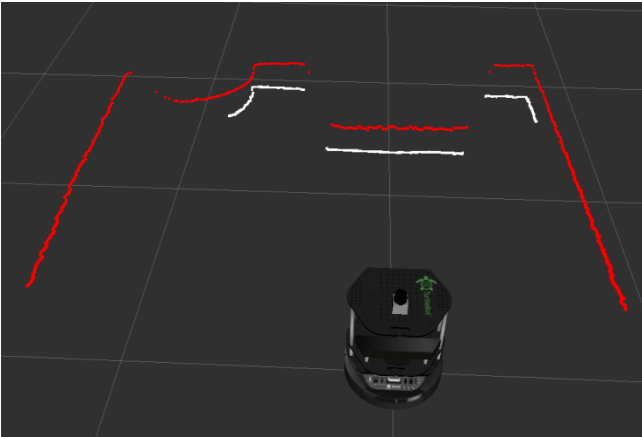


Fig. 11. Captura de pantalla del programa Rviz que mostra el que capten els dos dispositius làser.

També es pot observar que la Kinect mostra bastant bé els contorns de l'espai encara que el rang sigui més acotat així que per aconseguir uns resultats més acurats es mirarà quins són els valors que retornen aquestes mesures.

Cal esmentar que la captura anterior està feta desde la part superior per observar correctament les dues línies ja que els dispositius estan a diferents alçades dins de la configuració del robot.

14.2 Comparació numèrica

Gràcies a ROS es podem obtenir fàcilment les lectures dels làsers. Només cal que es triïn els *topics* adequats, en aquest cas els que internament s'anomenen `/sensor_kinect` i `/sensor_hokuyo` i els *suscribers* permetran a ROS que mostri una array de distàncies per cadascun dels dispositius. L'experiment que es va realitzar s'explica a continuació.

En primer lloc es va enfocar al robot contra una paret en la que hi havia una columna i una caixa per tal de detectar clarament el rang de valors corresponent a cada secció de l'espai.

En segon lloc es va capturar l'array de distàncies i es va buscar el rang de valors corresponent a la caixa ja que era clar de determinar gràcies a la disposició de l'espai.

El primer que es va poder observar va ser que el làser mesura molts menys punts que la Kinect ja que el Hokuyo presentava uns resultats de 86 medicions mentre que el làser integrat de la Kinect ens donava 302.

El segon que es va observar va ser que tant un com

l'altre mesuren de dreta a esquerra ja que les arrays retornades mostraven els valors corresponents a la part dreta de la caixa en les primeres posicions.

La causa que provoca aquest fet és que el Hokuyo és un dispositiu que mesura de forma mecànica girant al seu interior mentre que la Kinect utilitza un mètode digital de captura de distàncies llençant un patró infraroig a l'entorn i capturant el valor que posteriorment és processat tal i com s'ha explicat al punt 7.1.

14.3 Càlcul de l'error

Sense moure el robot de la posició en la que es trobava al capturar els valors, es van mesurar les distàncies reals i es van comparar amb les proporcionades pel robot.

Els valors que van ser triats per ser comparats van ser els corresponents al primer i l'últim de la caixa en qüestió i els resultats obtinguts van ser el següents:

En el cas de la Kinect, tot i captar més valors presenta un error mig de 0.65 mm mentre que el làser Hokuyo mostra un error mig de 0.2 mm vers les mesures reals.

Aquests resultats demostren que el làser té més precisió a les seves mesures encara que mesuri amb un *step* superior al de la Kinect.

15 CONCLUSIONS FINALS

En aquest últim punt revisarem les conclusions extremes durant el document passant per cadascun dels experiments realitzats per redactar aquest article.

El primer dels experiments aconseguits amb èxit va ser el de la navegació autònoma. D'aquest podem dir que el robot responia bastant bé al que li era demanat. Els camins pels quals anava eren òptims ja que les trajectòries triades s'aproximaven als objectes a l'hora de girar però mantenint una distància prudent per no xocar. El que si s'ha d'afegir és que en un entorn amb fortes interferències de xarxa el robot responia de manera errònia.

El segon va ser la integració dels dispositius a la configuració del robot. En el cas de la Kinect va ser una mica més simple ja que el Kobuki està pensat per incorporar una Kinect i hi ha la possibilitat d'adquirir-la en el moment de la seva compra. A més, ROS va ajudar ja que també presentava suport pel dispositiu de Microsoft.

Tot el contrari amb el làser Hokuyo ja que aquest dispositiu no tenia cap suport previ ni de ROS ni del Kobuki i es va de modificar manualment arxius de configuració per afegir-lo al model com s'ha comentat al punt 13.

Per acabar amb els experiments, afegir que en la comparació de dispositius queda demostrat que un dispositiu de més qualitat és més apte a l'hora de treballar però també s'ha de tenir en compte el preu d'aquest. Tot i que el làser és més precís la Kinect, aquesta presentava els mateixos resultats en la navegació encara que el mapa que generava tenia menys qualitat.

AGRAÏMENTS

Vull mostrar el meu agraïment a Ricardo Toledo, el tutor d'aquest treball, per diversos motius. Per deixar-me entrar al laboratori i preparar-me una màquina personal per poder treballar a més de proporcionar-me el robot

Kobuki i els làsers per investigar. També agrair els seus valuosos consells, explicacions i anècdotes que m'han aportat coneixement no tant sols per aquest projecte, sinó que també per la meua futura vida laboral.

BIBLIOGRAFIA

- [1] AAL Project. Web.
<http://www.robotnik.eu/aplicaciones-del-nuevo-robot-kobuki-turtlebot-ii/>
- [2] POLYRO Project. Web.
<http://www.ros.org/news/2011/05/polyro-open-source-friendly-robot.html>
- [3] About Ros. Web.
<http://www.ros.org/about-ros>
- [4] ROS Documentation. Web.
<http://wiki.ros.org/ROS>
- [5] Kobuki Documentation. Web.
<http://wiki.ros.org/kobuki>
- [6] Kobuki Specifications. Web.
<http://www.robotnikstore.com/robotnik/c221575/turtlebot-ii.html>
- [7] Understanding Nodes. Web.
<http://wiki.ros.org/ROS/Tutorials/UnderstandingNodes>
- [8] Kinect Specifications. Web.
<https://msdn.microsoft.com/en-us/library/jj131033.aspx>
- [9] Hokuyo URG-04LX Specifications. Web.
http://www.hokuyo-aut.jp/02sensor/07scanner/urg_04lx.html